

VŠB- Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra tepelné techniky

Stanovení základních parametrů komínového systému
HELUZ

Determining Basic Parametres for the HELUZ Chimney
System

Student: David Schön

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Toman, CSc.

Ostrava 2012

Anotace

Cílem bakalářské práce je stanovení základních tepelných parametrů systémového komínu HELUZ MULTI se zaměřením na teploty určitých částí konstrukce komínu. Po teoretické analýze problému bylo provedeno náročné měření na experimentálním komínu. Závěrečná část zahrnuje výpočty a stanovení tepelných parametrů.

Klíčová slova

Systémové komíny, tepelné parametry, teoretická analýza, spalování paliv, stanovení tepelných parametrů, experimentální měření

Summary

The aim of bachelor thesis is to determinate main thermal parameters of chimney system HELUZ MULTI with focus on temperatures several part of chimney construction. After analyzing problem on theoretical level difficult measuring was made on experimental chimney. Last part include calculations and determinations of thermal parameters.

Keywords

Chimney systems, thermal parameters, theoretical analysis, combusting of fuels, determining of thermal parameters, experimental measuring

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	VÝVOJ KOMÍNŮ PRO LOKÁLNÍ TOPENÍŠTĚ	7
2.1	POHLED DO MINULOSTI, SOUČASNOSTI A PERSPEKTIVY.....	7
2.2	VÝVOJ V KOMÍNOVÉ TECHNICE	8
2.2.1	<i>Dvouvrstvé komínové systémy.....</i>	<i>8</i>
2.2.2	<i>Třívrstvé komíny s keramickou vložkou</i>	<i>9</i>
3	KONSTRUKCE SYSTÉMOVÉHO KOMÍNU	10
3.1	MATERIÁLY KOMÍNŮ	10
3.2	SKLADBA VÍCEVRSTVÉHO KOMÍNA	11
3.2.1	<i>Komínové průduchy</i>	<i>12</i>
3.2.2	<i>Komínový plášť vícevrstvých komínů</i>	<i>12</i>
3.2.3	<i>Vyústění komína</i>	<i>12</i>
3.2.4	<i>Otvory v komíně.....</i>	<i>13</i>
3.2.4.1	<i>Sopouchy</i>	<i>13</i>
3.2.4.2	<i>Vybírací, vymetací a kontrolní otvory</i>	<i>13</i>
3.3	KOMÍNOVÝ SYSTÉM HELUZ.....	13
3.3.1	<i>Pevná paliva.....</i>	<i>14</i>
3.3.2	<i>Plynná paliva:</i>	<i>14</i>
4	TEORIE SPALOVÁNÍ	15
4.1	SPALOVÁNÍ DŘEVA.....	16
4.2	PŘIROZENÝ ODVOD SPALIN	18
5	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	19
5.1	POSOUZENÍ VYPOČTENÝCH A NAMĚŘENÝCH PARAMETRŮ.....	20
5.1.1	<i>Stanovení vlhkosti gravimetricky</i>	<i>20</i>
5.1.2	<i>Stanovení vlhkosti vlhkoměrem</i>	<i>20</i>
6	NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ PARAMETRY EXPERIMENTU:.....	21
7	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU.....	26
8	ZÁVĚR	28
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	29
	SEZNAM OBRÁZKŮ	30
	SEZNAM TABULEK.....	31
	SEZNAM PŘÍLOH	32

SEZNAM POUŽITÉHO OZNAČENÍ

Označení	Jednotka	Význam
CO	%	obsah oxidu uhelnatého
CO ₂	%	obsah oxidu uhličitého
O ₂	%	obsah kyslíku
n _{max}	1	přebytek vzduchu (maximální)
n _{min}	1	přebytek vzduchu (minimální)
n _{nam}	1	přebytek vzduchu (naměřený)
Q _i	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	výhřevnost
Q _{př}	J	teplo předeřátého vzduchu
c _{sp}	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	měrná tepelná kapacita spalin
η _{pyr}	1	pyrometrický efekt
k	s ⁻¹	počet aktivních srážek
k ₀	s ⁻¹	počet celkových srážek
E _{akt}	J	aktivační energie
R	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	univerzální plynová konstanta
T	K	termodynamická teplota
T _{vz}	K	střední teplota okolního vzduchu po výšce komína
T _{1,sp} , T _{2,sp}	K	teploty spalin v různých částech komína
T _{sp}	K	střední teplota spalin
PAU	%	obsah polycyklických aromatických uhlovodíků
C ^r	%	obsah uhlíku v původním stavu paliva
H ^r	%	obsah vodíku v původním stavu paliva
O ^r	%	obsah kyslíku v původním stavu paliva
N ^r	%	obsah dusíku v původním stavu paliva
A ^r	%	obsah popela v původním stavu paliva
W ^r	%	obsah vlhkosti v původním stavu paliva
V _{sp}	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	objem spalin z 1 kg paliva
V _{sp} ^s	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	objem suchých spalin z 1 kg paliva
L _{min}	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	min. množství spalovacího vzduchu pro 1 kg paliva
L _{sk}	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	skutečné množství spalovacího vzduchu pro 1 kg paliva
Δp	Pa	tah komínu (tlakový rozdíl)

1 ÚVOD

Komíny pro lokální topeniště domácností a malých provozoven prodělali v posledních 20 letech dynamický vývoj související se změnou podmínek vytápění, použitých paliv a dispozicí konstrukčních materiálů, respektive komínových systému.

Z hlediska vytápění se v souvislosti se snížením energetické potřeby (tepelné ztráty budov) nejen výrazně snížili požadované výkony topenišť (zateplování, nízkoenergetické nebo energeticky pasivní domy), ale došlo i k výraznému posunu ve využívání ušlechtilých paliv, především zemního plynu na úkor tuhých paliv (uhlí).

Na uvedené změny musela reagovat i konstrukce komínů, která s dominantní jednoplášťové konstrukce dominující do 80. let přešla na dvou a třívrstvou konstrukci s oddělenou funkcí žáruvzdorného nebo vodovzdorného kouřovodu, kontaktní tepelné izolace a statické tuhosti. Vzhledem k významu požární odolnosti a bezpečnostním hlediskům jsou komíny vyhrazeným zařízením stavby s legislativní povinností stavební revize před uvedením do provozu a povinností periodických revizí během provozu.

Změna paliv rovněž ovlivnila provozní režimy komínů, neboť teplotní zatížení typické pro spotřebiče na tuhá paliva se u plynových spotřebičů výrazně snížilo a to z teplot nad 300 °C u uhelných na cca 120 °C plynových spalovacích zařízení. Extrémem souvisejícím se zaváděním kondenzačních kotlů v 90. letech je snížení teploty spalin pod 40 °C.

Změna podmínek spalování a charakteristických vlastností spalin (teplota, vlhkost, obsah nespálených uhlovodíků) vedla ke změnám použitých materiálů a diferenciaci komínu pro tuhá nebo plynná paliva. Šamotové materiály zůstaly dominantním materiálem pro komíny tuhých paliv, pro komíny zemního plynu se objevily kovové nebo plastové kouřovody. Novým prvkem je dnes běžná tepelná izolace kouřovodu udržující sníženými tepelnými ztrátami vyšší teplotu spalin a tím i vyšší tah komínu. V extrémním případě vyhoření komínu je tepelná izolace významným bezpečnostním prvkem zajišťujícím nerozšíření požáru z kouřovodu na vnější konstrukci. Statickou pevnost a stabilitu komínu dnes většinou zajišťují speciální tvarovky z lehčeného betonu (Schiedel) nebo z pálené keramiky (Heluz). Tyto prefabrikované nosné části komínu jsou zabroušené (umožňují přesné zdění s minimem pojivových tmelů), mají otvory pro ocelové armatury zalévané betonem (tuhost a stabilita komínu) včetně průběžných otvorů zadního odvětrávání zajišťujícího permanentní vysoušení komínové konstrukce od difúzně proni-

kající vlhkosti. Vedle nových materiálů (antikorozi oceli, plasty) jsou aktuální i konstrukční uzly komínů (zaústění sopouchu, komínové ústí), případně dnes běžné komplexní komínové systémy umožňující dlouhodobou životnost s garancí bezporuchového provozu.

U kombinovaných komínů s více kouřovody (2 až 3) pro různá paliva je však aktuální otázka vzájemného ovlivňování například plynového kouřovodu z plastu kouřovodem z kamen nebo krbu na tuhá paliva. Právě tato otázka byla zadáním bakalářské práce neboť úspěšný prodej systémových komínů Heluz vyžadoval ověření této možnosti kombinace kouřovodů i za extrémních provozních podmínek.

Cílem bakalářské práce je experimentální stanovení extrémních teplot v nestandardním provozním režimu šamotového kouřovodu a ovlivnění sousedícího průduchu určeného pro instalaci plastového kouřovodu od plynového spotřebiče s maximální povolenou provozní teplotou 200° C.

Na základě uvedených požadavků byl postaven standardní 7 metrů vysoký experimentální tříprůduchový komín s dvěma spalinovými a jedním vzduchovým průduchem osazený vždy 5 termočlánky v rovinách 2.0, 3.5, 5.0, a 6.5 metru. Dále byly termočlánky instalovány do odvodu spalovací komory kamen a v ústí komínu. U vstupu kouřovodu do komína (sopouchu) byly odběrovým otvorem stanoveny analýzy a tahy spalin na základě kterých byla stanovena účinnost spalování. Podrobný popis experimentu je v samostatné kapitole bakalářské práce.

Výsledky experimentálního měření dají ověřené parametry především teplot v kouřovodu resp. v sousedícím kouřovodu komínu za definovaných, i když extrémních podmínek spalování. Získané parametry tak potvrdí oprávněnost a bezpečnost použití komínového systému Heluz pro kombinaci šamotového kouřovodu na tuhá paliva a plastového kouřovodu pro zemní plyn.

2 VÝVOJ KOMÍNŮ PRO LOKÁLNÍ TOPENÍŠTĚ

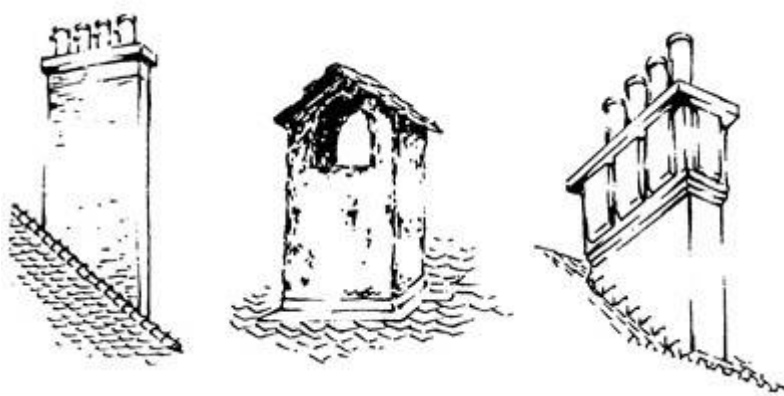
2.1 Pohled do minulosti, současnosti a perspektivy

Otevřená ohniště, přestože byla využívána až do 18. století, nezajišťovala dokonalé spálení hořlaviny paliva. Spalování probíhalo v účinnostech do 20 %. Pokrok v přírodních vědách (chemie, fyzika atd.) související s nástupem průmyslové revoluce přinesli nové poznatky o hoření a s tím související vynálezy uzavřeného topeniště. Uzavřenému spalovacímu prostoru byl omezen přístup spalovacího vzduchu z cca pětinásobku na dvojnásobek. To mělo zásadní vliv na reakční teplotu, resp. teplotu plamene. Zvýšením teploty plamene došlo nejen ke zrychlení reakce hoření ale také k výraznému zvýšení účinnosti na trojnásobek až pětinásobek.

Zdokonalené, stále však ještě ne dokonalé spalování, vyžadovalo i odlišný přívod spalovacího vzduchu. Zavedením roštu bylo dosaženo rovnoměrného přívodu vzduchu pod spalované palivo se současným přehříváním vzduchu při průchodu roštem. Rošty ve svých důsledcích zásadně zvýšili účinnost z 10 – 20 % na 60 – 70 % a proto byl rošt jedním z prvních hromadně vyráběných produktů průmyslové revoluce. Významná byla především úspora paliva (cca 50%), které bylo drahé a v průmyslových oblastech (Jihlavsko, Kutná hora) ho byl nedostatek. [4] Dřevo se například do Kutné Hory plavilo až z Orlických hor či Krkonoš. Nepřehlédnutelným přínosem nově vzniklých spalovacích podmínek s vyšší teplotou plamene byla možnost spalování uhlí. Využití uhlí jako paliva nebylo do té doby prakticky využíváno neboť při nízkoteplotním spalování nepříjemně „kouřilo“ – vliv nespálených uhlovodíků obsažených ve spalínách.

S tímto vývojem v oblasti hoření musel logicky nastoupit i vývoj tepelné a komínové techniky. Dnes jsou kladeny na komínovou techniku (systémy pro odvod spalin) vysoké nároky. Jejich konstrukce musí být naprosto bezpečná a funkční pro široký sortiment všech tepelných spotřebičů i topných médií. Úkolem komínové techniky je odvést spaliny nad střechu, kde jsou rozptýleny do ovzduší tak, aby se zamezilo jakékoli újmě na zdraví obyvatel domu. [9]

Jednovrstvý kamenný a později také jednovrstvý cihelný komín byly dlouhou dobu nejběžnějším typem. Až v minulém století byly, z důvodu urychlení výstavby, cihly nahrazeny prefabrikovanými stavebními díly.



Obr. 1 Příklady vyústění historických komínů

2.2 Vývoj v komínové technice

Změny topných médií měly a mají největší podíl na změnách v komínové technice. Dřevo, které bylo jediným palivem po několik staletí, doplnila v průběhu času další paliva. Dnes tvoří paletu médií tuhá paliva, kapalná paliva (topné oleje) i paliva plyná (zemní plyn). Další vývoj tepelné techniky úzce souvisel se změnami paliv[11]. Lokální topidla byla nahrazována centrálním vytápěním a také se výrazně zvýšila účinnost spotřebičů. Komínová technika proto vždy musela držet krok s tímto vývojem.

Jedno- a dvouvrstvé komínové systémy jsou však dnes nevhodné pro odvod spalin z moderních a vysoce účinných spotřebičů a byly tak dalším vývojem komínové techniky překonané.



Obr. 2 Jednovrstvé komíny (zděný, plnostěnný a prefabrikovaný) [1]

2.2.1

Dvouvrstvé komínové systémy

Právě zavedení kapalných paliv způsobilo nutnost kyselinovzdornosti vnitřní konstrukce komína. Spolu se vzrůstajícími nároky na statickou a požární bezpečnost budov daly tyto po-

žadavky za vznik dvouvrstvého systému komína. Vnitřní vložka splňovala odolnost vůči agresivnímu kyselému prostředí spalin a kondenzátů, zatímco vnější plášť plnil funkci statickou.



Obr. 3 Dvouvrstvý komín [1]

2.2.2 Třívrstvé komíny s keramickou vložkou

V sedmdesátých letech proběhnuvší energetická krize způsobila rychlý vývoj energeticky úspornějších technik. Pro trh to znamenalo objevení nízkoteplotních, vysoce účinných kotlů. Této změně se samozřejmě musela přizpůsobit skladba komínových systémů.

Vznikly systémy s vnitřní šamotovou vložkou obalenou tepelnou izolací zaručující, že spaliny o nízkých teplotách nebudou výrazně ochlazovány při proudění komínem. Tepelná izolace musí navíc uvolnit potřebnou pohyblivost vnitřní vložce způsobenou roztažností materiálu (dilatací).



Obr. 4 Třívrstvý komín (Schiedel) [1]

3 KONSTRUKCE SYSTÉMOVÉHO KOMÍNU

Komínový systém je funkcí několika parametrů jako jsou materiály použité ke konstrukci (cihly, šamot, antikorozní ocel či plasty) a konstrukčních uzlů (sopouch, kouřovod, komínové ústí). Na uvedené části je možnost získání garance kvality, ovšem pouze pro danou část. Pokud pak při sestavení dojde k neuváženému sestavení komponent do systému, garance funkčnosti mizí.

Na spalínové cesty, na jejich kontrolu a provádění revizí se vztahuje několik právních předpisů. Bezpečnost a spolehlivá funkce každé spalínové cesty musí být potvrzena revizní zprávou – vyhláška č. 268/2009 Sb. o požadavcích na stavby. Pravidelné kontroly spal. cest se provádí 1x za rok podle nařízení Vlády č. 91/ 2010 Sb. o podmínkách požární bezpečnosti při provozu komínů, kouřovodů a spotřebičů paliv.

Zásady pro navrhování komínů se upravují podle funkčního rozdělení komínů. Společnou zásadou je bezpečný odvod spalín od kouřového hrdla spotřebiče do venkovního prostoru nad střechu budovy. Výpočtové posouzení je nezbytnou částí každého návrhu komína. Ať už jde o podtlakové či přetlakové systémy, existuje několik společných kritérií pro komíny. Musí být zajištěn takový tepelný odpor, aby nedocházelo k ochlazování spalín pod rosny bod. Komíny, které odvádějí spaliny od spotřebičů na tuhá paliva, mohou být navrhovány s jednou vrstvou stěny komína, a to z důvodu nižší vlhkosti spalín a povolenému režimu provozu. Vlhkost je nejvyšší u plyných paliv.

3.1 Materiály komínů

Při návrhu se uvažují materiály, které se snadno přizpůsobí proměnlivým teplotám, kterých je dosaženo při provozu a případné kondenzaci spalín. Ta by měla vzniknout na povrchu komínového průduchu jen krátkodobě.

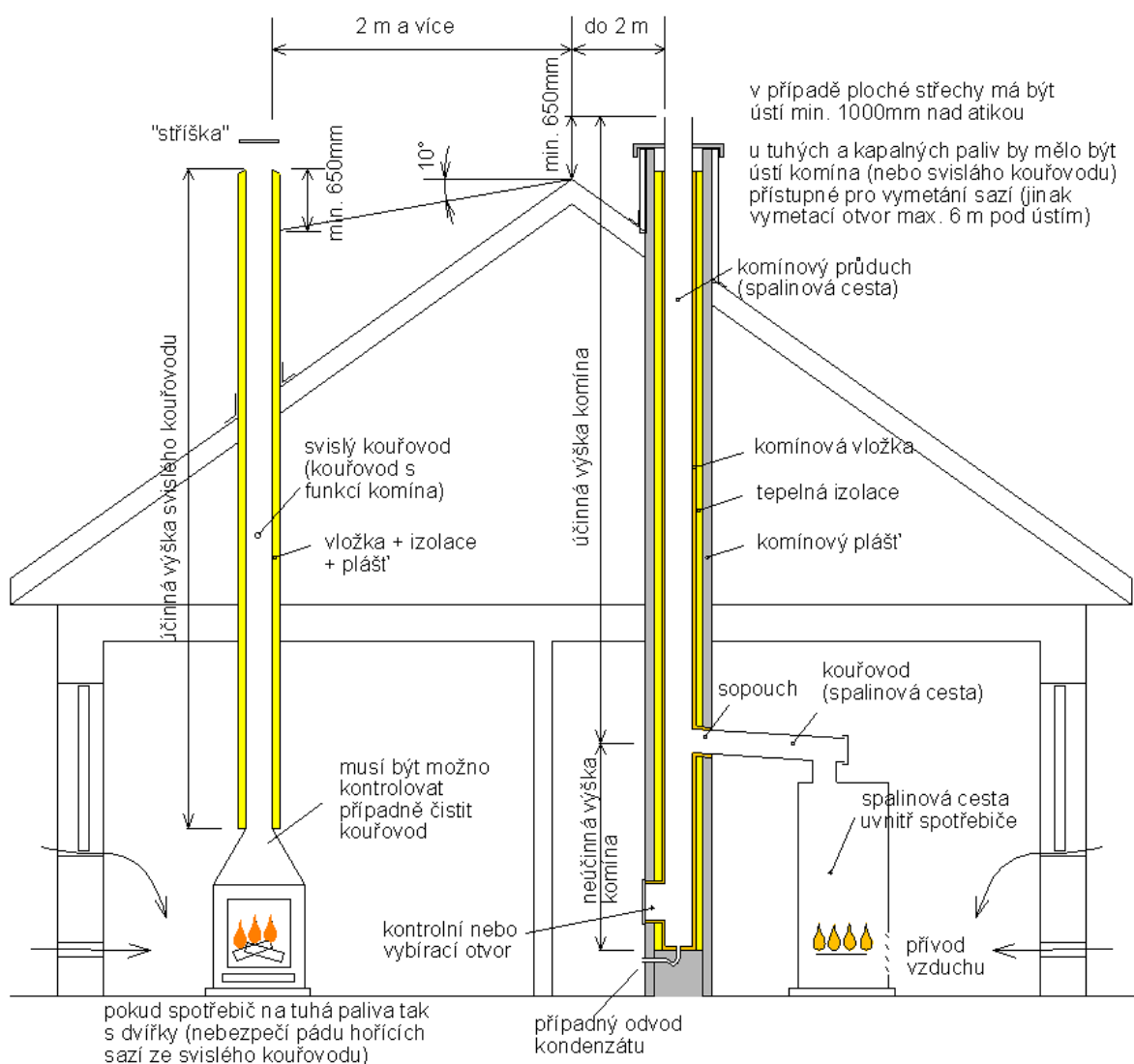
Komíny a kouřovody se navrhují z materiálů :

- nehořlavých
- s nasákavostí nejvýše 20% měrné hmotnosti u celé konstrukce komína.
- odolných proti mrazu. Jde o konstrukci vystavovanou atmosférickým vlivům.
- odolných vůči účinkům spalín.

3.2 Skladba vícevrstvého komína

Vícevrstvý komín je komín, jehož konstrukce se skládá z komínové vložky vytvářející komínovní průduch, z izolační vrstvy z komínového pláště.

Vícevrstvé komíny se mnohem lépe přizpůsobují změnám v proměnlivém provozu než jedno-
vrstvé.



Obr. 5 Schéma obsahující všechny komponenty komínového systému [8]

3.2.1 Komínové průduchy

Komínové průduchy musí mít po celé výšce neměnný průřez (výjimka u společných komínů). Jejich tvar by měl být svislý a pokud možno přímý s maximálním sklonem 15° od svislice. V odůvodněných případech 30° . Případné uhnutí musí být provedeno mimo stropní konstrukci. U komínů s přirozeným tahem musí mít dostatečnou účinnou a neúčinnou výšku. Účinná výška komína je nejméně 5 m u komínů od spotřebičů na tuhá a kapalná paliva. Pokud využíváme plyných paliv je účinná výška 4m. [8]

Pro odvod spalin od spotřebičů na tuhá paliva by měl být nejmenší hydraulický průměr průduchu 120 mm. Průřez nejméně $0,015 \text{ m}^2$

Komínové průduchy se podle průřezu dělí na:

- úzké – s průřezem do $0,04 \text{ m}^2$
- střední – s průřezem od $0,04$ do $0,02025 \text{ m}^2$
- průlezné – s průřezem větším než $0,02025 \text{ m}^2$

3.2.2 Komínový plášť vícevrstevných komínů

Komínový plášť nemá být oslaben drážkami a rýhami ani nemá tvořit podpěru pro jakékoli zařízení či konstrukci. Plášť se posuzuje z hlediska difúze vodní páry a možnosti kondenzace v komínové stěně. Při průchodu vnitřkem budovy je vždy oddělen od stropní konstrukce i konstrukce stěn.

Stěna vícevrstvého komína musí mít od nejnižšího připojeného spotřebiče takový tepelný odpor, aby povrchová teplota na plášti nepřesahovala 52°C . (nejméně $0,55 \text{ m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$).

Možností materiálu u pláště komína je několik od zděných přes keramické tvarovky, prefabrikované díly či krycí desky až po plechové potrubí.

3.2.3 Vyústění komína

Hlavním předpokladem pro správné fungování komína je tah. Ten nesmí být narušen působením větru na ústí komína.

Musí být posuzováno i s ohledem na hygienické předpisy o šíření škodlivin do ovzduší. Šíření hluku z hlediska termické akustiky by rovněž nemělo být přehlíženo.

U vnitřních komínů bývá komínový plášť nad střechou budovy opatřen ochrannou konstrukcí, pomocí níž se zvýší tepelný odpor. Ochranná konstrukce před atmosférickými vlivy je rovněž samozřejmostí.

Vyústění nad střechou nebo nad terénem:

- nad plochou střechou (plochá střecha = střešní plocha se sklonem do 20°)
 - 1,5 m pro komíny od spotřebičů na tuhá a kapalná paliva

- 1 m pro komíny od spotřebičů na plynná paliva
- nad strmou střechou nejméně 0,65 m nad hřebenem střechy
- nad střešní nástavbou se vzdáleností ústí do 2 m od nástavby
- 1,5 m pro komíny od spotřebičů na tuhá a kapalná paliva
- 1 m pro komíny od spotřebičů na plynná paliva

3.2.4 Otvory v komíně

Všechny otvory v komíně musí být řešeny v těsném provedení. Podle zásad pro navrhování kouřovodů se navrhují i vzduchové klapky.

3.2.4.1 Sopouchy

Pro těsné připojení kouřovodu u vícevrstvých komínů jsou sopouchy řešeny tvarovkou. Sopouchová tvarovka může být provedena v šikmém či kolmém provedení v závislosti na sklonu kouřovodu. Při zapojení několika kouřovodů do společného komínového průduchu, musí být sopouchy od sebe vzdáleny 0,3 m.

3.2.4.2 Vybírací, vymetací a kontrolní otvory

U spotřebičů na tuhá a kapalná paliva se u paty komína musí osadit vybírací otvor. Ten je umístěn na půdici průduchu nejméně 300 mm a nejvíce 1000 mm nad podlahou. Spojovat dva nebo více komínových průduchů společným vybíracím otvorem je zakázáno.

U komínů napojených na spotřebič pro tuhá paliva, které nelze vymetat přímo ústím komína se navrhují vymetací otvory. A to :

- nad střechu nebo do půdního prostoru, který není nijak využíván
- ne níže než 6 m pod ústím komína
- s nehořlavou podlahou pod vymetacím otvorem do vzdálenosti min. 600 mm (stejně jako u vybíracího otvoru).

Co se týče kontrolního otvoru, musí být umístěn tak, aby umožňoval kontrolu a případné čištění průduchu komína a kouřovodu od spotřebičů na plynná paliva.

Nejmenší velikost kontrolního otvoru je 120 mm x 200 mm.

Kontrolní otvor může být kruhový nebo oválný.

3.3 Komínový systém Heluz

Tento systém je vhodný pro všechny druhy paliv. Tenkostěnné keramické komínové roury s hrdlem zajišťují pevnost a těsnost spojení. Zajišťují také rychlý ohřev a omezují kondenzaci uhlovodíků.

3.3.1 Pevná paliva

Třívrstvý systém složený z tenkostěnné keramické vložky, tepelné izolace, broušené cihelné komínové tvarovky). Je určen pro všechny typy spotřebičů v atmosférickém provozu. Komínové vložky mají vnitřní průměr 160 a 200 mm. Maximální vstupní teplota spalin do komína je 600° C.

3.3.2 Plynná paliva:

Dvousložkový systém sestávající z tenkostěnné keramické roura cihelné komínové tvarovky. Je určen pro spotřebiče pracující v přetlakovém, podtlakovém i atmosférickém provozu.

Komínové vložky mají vnitřní průměr komínových vložek 140, 160 a 200 mm. Maximální výstupní teplota spalin je 200° C. Univerzálně použitelný komínový systém HELUZ MULTI je vhodný pro jakýkoliv spotřebič a jakýkoliv typ paliva. Tenkostěnné keramické komínové vložky délky 1 m jsou lisovány pod obrovským tlakem. Jejich největší výhodou je přesnost, stálost i při extrémních výkyvech teplot, nenasákavost a odolnost vůči vlhkosti, kyselinám a korozi. Hladké stěny vložek navíc brání usazování pevných částí zplodin na vnitřním povrchu.

Systém HELUZ MULTI je možné kombinovat s jakýmkoliv jiným komínovým systémem HELUZ (kromě systému MINI) včetně celé nebo poloviční prázdné šachty a je vhodný pro rekonstrukce komínů.



Obr. 6 Komínový systém Heluz

4 TEORIE SPALOVÁNÍ

Souhrnně lze konstatovat, že dřevo, obecně biomasa, není automaticky ekologickým palivem, ale pro dokonalé spálení s minimem škodlivých emisí vyžaduje splnění konkrétních termodynamických podmínek, vyjádřených zjednodušeně teplotou a koncentrací hořlavé směsi v plameni [10]. Tyto podmínky lze optimalizovat jak moderní konstrukcí spalovacího zařízení, tak vhodně vedeným provozním režimem.

Z provedeného experimentu vyplývá, že o dokonalém hoření dřeva rozhodují termodynamické parametry teploty a koncentrace. Koncentrační podmínku splníme přívodem spalovacího vzduchu v mírném přebytku, což však při nižších přebytcích vyžaduje rovnoměrné rozdělení vstupních proudů a tím i otvorů, případně štěrby po celém obvodu topeniště. [12] K dobrému mísení rovněž přispívá předehtání spalovacího vzduchu vyrovnávající velmi rozdílné (až 5x) hustoty přiváděného vzduchu (20 °C) a hořící směsi v plameni (1000 °C). Studený vzduch v horkém prostředí topeniště padá dolů a teprve po ohřevu až následně proudí vzhůru do plamene, kde je potřebný pro spalování.

Rovněž rozdělení spalovacího vzduchu na primární, omezující intenzivní vznik tuhé fáze při termické disociaci uhlovodíků ve spodní části plamene, který musí být přiváděn roštem nebo v dolní části topeniště. Aby mohl splnit svoji funkci, musí být přítomen a mísit se s prchavou hořlavinou již při jejím uvolňování z ohřívaného palivového dřeva. Sekundární spalovací vzduch má za úkol spálit vzniklou plynou fází na oxid uhličitý a vodu.[12]

Moderní biotopeniště s vysokou účinností musí co nejdokonalejší hoření zajistit dostatečně vysokou teplotou, o jejíž překročení nemusíme mít u lokálních topenišť výkonového rozsahu 5 – 30 kW obavy. Z tohoto důvodu je povrch topeniště vyzděný z keramického materiálu v řadě případů i s keramickým roštem, neboť kovové součásti topeniště svojí vysokou tepelnou vodivostí odvádějí teplo mimo tento prostor již v průběhu hoření, což není žádoucí. Dokonalé hoření vyžaduje co nejdokonalejší spálení paliva při vysoké teplotě s pouze mírným přebytkem vzduchu a teprve následné ochlazování spalin pro účelové využití vzniklého tepla.

Nespálené uhlovodíky kondenzují při průchodu komínem při aktuálních bodech varu (150 – 300°C). Tyto uhlovodíky jsou bez popela, v oblasti teplot nad 100 °C bez vlhkosti a jsou tedy ve své podstatě velmi dobrým palivem. Pokud dojde k prošlehnutí plamene z topeniště, dojde k velmi intenzivnímu hoření s přebytkovým spalovacím vzduchem předehtávaným v topeništi na teplotu spalin (běžně do 300 °C výjimečně až 530 °C jak prokázal experiment.) Zvýšený vztlak v komíně přisaje další spalovací vzduch a vyvolá tzv. vyhoření komína, což je stav, kdy teploty dosahují na vnitřním povrchu komínu až 1100°C. Na tyto podmínky nejsou

běžné komíny dimenzovány a obvykle dochází k jejich poškození jak degradací konstrukčních materiálů tak poškozením konstrukce, např. v důsledku dilatační změn vyvolávajících tahové napětí na vnějším povrchu komína, kterým keramické zděné konstrukce obvykle neodolávají. Tyto kritické stavy obvykle vedou k požáru a jsou velmi nebezpečné.

4.1 Spalování dřeva

Mechanismus hoření dřeva (biomasy) probíhá ve 3 fázích:

1. **vysoušení** – probíhá do 100°C resp. u polen do 150 °C
2. **uvolňování prchlavé hořlaviny** V(volatils) – od 150°C do 300°C
- hoří dlouhým svítivým plamenem
3. **dohořívání tuhé fáze** – hoří nesvítivým krátkým modravým plamenem

Pro dokonalé spalování je nutné zajistit koncentrační a teplotní podmínky. Tlak je konstantní (atmosférický). Důležitým atributem je především přebytek vzduchu n v orientačních hodnotách pro:

- otevřené ohniště, $n=5$
- roštové topeniště, $n= 2$
- kotle, biotopeniště, práškové palivo, štěpka, $n= 1,3$

Praktickou spalovací teplotu resp. teplotu plamene lze stanovit z rovnice :

$$t_p = \frac{Q_i + Q_{př}}{V_{sp} \cdot C_{sp}} \cdot \eta_{pyr} \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (1)$$

kde

Q_i - výhřevnost ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)

$Q_{př}$ - teplo předehřátého vzduchu ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)

V_{sp} - objem spalin ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)

c_{sp} - měrná kapacita spalin ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

η_{pyr} - pyrometrický efekt (1)

Z rovnice (1) plyne, že při snížení přebytku vzduchu n dojde ke zvýšení reakční teploty (teploty plamene), což je velmi významné pro rychlost probíhající reakce a dokonalost hoření.

Závislost rychlosti reakce počtem aktivních srážek na teplotě vyjadřuje Arrheniova rovnice [3]

$$k = k_0 \cdot e^{-\frac{E_{akt}}{R \cdot T}} \text{ (s}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

kde

k je počet aktivních srážek

k₀ je počet celkových srážek

E_{akt} je aktivační energie (J.mol⁻¹)

R je univerzální plynová konstanta (J . mol⁻¹ . K⁻¹)

T je termodynamická teplota (K)

Pokud je k počet reagujících molekul v 1 molu, můžeme tuto veličinu vnímat jako vznik energie za čas neboli (J . s⁻¹ = W). Každá srážka tedy představuje vznik energie, která vynásobením počtu molekul v molu (Avogardovo číslo) (J.mol⁻¹) po přepočtu molárním objemem nebo hmotností pro jednotku paliva (J.kg⁻¹ , J.m⁻³) znamená výhřevnost. Z uvedené rovnice vyplývají problémy s nízkoteplotním spalováním dřeva (pod 500°C). Hořlavá směs prchavé hořlaviny a vzduchu vyžaduje aktivační energii s teplotou přesahující zápalnou teplotu plynů (500°C). Po vznícení se reakce rozběhne a směs tak poměrně stabilně hoří. Při ochlazení plamene však hořící směs podle Arrhenia zpomalí reakce případně uhasne a ve spalínách jsou nespálené PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky = dehty) v plynné formě, které při dalším ochlazení na bod varu (300 – 150° C) kondenzují ve formě mlhy, která vytváří známou kouřovou vlečku. Popsaný mechanismus je charakteristický právě pro nízkoteplotní spalování v lokálních topeništích, kdy ochlazení plamene pod 500 °C a s tím související zpomalení reakce až případné uhasnutí plamene je velmi pravděpodobné. U průmyslových topenišť kotlů elektráren a tepláren není díky tepelně technickým poměrům tento mechanismus aktuální. Výsledkem je přibližně stejná produkce nespálených uhlovodíků a tuhých znečišťujících látek z průmyslových topenišť spalujících 48 milionů tun hnědého uhlí a lokálních topenišť spalujících pouze přibližně 2 miliony tun hnědého uhlí, jak jednoznačně a dlouhodobě prokazují zveřejňované údaje REZZO 1 - 4 Českého hydrometeorologického ústavu MŽP ČR.

Z uvedených důvodů jednoznačně vyplývá, že lokálním topeništím na tuhá paliva je nutné věnovat zvýšenou pozornost a docílit nápravu snížením škodlivých emisí jak racionální konstrukcí spalovacích zařízení, tak optimalizovanými provozními režimy umožňujícími dosáhnout optimálních termodynamických podmínek hoření s minimem vzniku škodlivých emisí.

4.2 Přirozený odvod spalin

Spaliny jsou odváděny na základě přirozeného nebo nuceného tahu, který vytváří tah potřebný pro překonání hydraulických odporů v odtahové části systému spalinových cest. Přirozený tah je vytvářen komínem. Spaliny zde vstupují otvorem tzv. sopouchem a dále postupují průduchem komína až k jeho ústí, kde opouštějí spaliny komín a vstupují do volného ovzduší.

Proudění spalin má příčinu ve vztlaku, který vzniká v důsledku rozdílné teploty a tím i hustoty okolního vzduchu a spalin v komíně.

Požadovaný tah komínu, který má být pro běžná lokální topeniště cca 15 Pa, lze stanovit výpočtem z Bernoulliho rovnice upravené do tvaru:

$$\Delta p = h \cdot g \cdot \left[\rho_{0,vz} \cdot \frac{T_0}{T_{vz}} - \rho_{0,sp} \cdot \frac{T_0}{T_{sp}} \right] + \frac{v_{0,1}^2}{2} \cdot \rho_{0,sp} \cdot \frac{T_{1,sp}}{T_0} - \frac{v_{0,2}^2}{2} \cdot \rho_{0,sp} \cdot \frac{T_{2,sp}}{T_0} - \psi \cdot \frac{h}{d} \cdot \frac{v_{0,2}^2}{2} \cdot \rho_{0,sp} \cdot \frac{T_{sp}}{T_0} - \zeta \cdot \frac{v_{0,2}^2}{2} \cdot \rho_{0,sp} \cdot \frac{T_{2,sp}}{T_0} \quad (Pa) \quad (3)$$

kde

Δp - tah komínu (tlakový rozdíl) (Pa)

T_{vz} - střední teplota okolního vzduchu po výšce komína (K)

$T_{1,sp}$, $T_{2,sp}$, T_{sp} - teploty spalin v různých částech komína (změna po výšce) (K)

v - rychlost spalin ($m \cdot s^{-1}$)

ψ - součinitel tření (1)

ζ - součinitel místních ztrát (1)

$\rho_{0,sp}$ - hustota spalin ($kg \cdot m^{-3}$)

$\rho_{0,vz}$ - hustota vzduchu ($kg \cdot m^{-3}$)

Nucený odvod spalin běžný v průmyslových podmínkách je u lokálních spotřebičů využíván především u kondenzačních kotlů s extrémně nízkou teplotou odcházejících spalin, případně u kotlů pro spalování biomasy.

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Řízení spalovacího režimu bylo zajištěno relativně rovnoměrným režimem spalování dřeva, které je díky periodickému přikládání obtížně realizovatelné. Kritériem dokonalého hoření byla minimální teplota v odtahu topeniště 500°C. Tento požadavek však vyvolal nutnost přikládání 0,50 kg dřeva naštípaného na polínka o přibližně stejných rozměrech. Přikládání probíhalo v intervalu 450 sekund (7,5 minuty). Velikost polínek (2x2x20cm) umožňovala rychlé vysušení dřeva a rychlý nástup uvolňování a hoření prchlavé hořlaviny ve směsi se vzduchem. Krátce po přiložení zajistila vzestup teploty plamene přes 700°C. Při postupném vyhořívání prchlavé hořlaviny teplota plamene postupně klesala a při ochlazení pod 530°C bylo přiloženo další palivo. Časový režim spalování a hoření odpovídal frekvenci přikládání.

Elementární složení palivového dřeva v původním stavu (r) při stanovené vlhkosti 20,89 % je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1 Chemické složení paliva

Složka	Obsah složky v palivu
C ^r	41,10 %
H ^r	4,80 %
O ^r	33,05 %
N ^r	0,08 %
A ^r	0,08%
W ^r	20,89 %

Z následujícího složení paliva jsem vypočetl svazovou rovnicí **výhřevnost** :

$$Q_i = 339 \cdot C + 1214 \cdot (H - O/8) + 105 S - 25W =$$

$$339 \cdot 41,10 + 1214 \cdot (4,80 - 33,05/8) - 25 \cdot 20,54 = 14\,224,03 \text{ (kJ.kg}^{-1}\text{)}$$

Veškeré výpočty spalování a charakteristických veličin (objemy spalin a vzduchu, hustoty spalin a spalovací teploty) jsou uvedeny pro aktuální přebytky vzduchu v příloze.

5.1 Posouzení vypočtených a naměřených parametrů

Vypočtené praktické spalovací teploty se shodovaly s hodnotami naměřených teplot. V závislosti na změně přebytku vzduchu v průběhu jedné periody přiložení paliva se měnily teploty v intervalu 760 °C krátce po přiložení s maximálním uvolňováním prchavé hořlaviny a přebytkem vzduchu $n_{\min} = 1,33$ až po extrémních 440 °C těsně před přiložením další dávky paliva při $n_{\max} = 2,56$, resp. pro běžně dodržovanou teplotu 500 °C v odtahu spalin na konci spalovací komory těsně před dalším přiložením při měřeném přebytku vzduchu $n_{\text{nam}} = 2,22$. Teploty naměřené v jednotlivých bodech složené válcové stěny však neodpovídali jednorozměrnému vedení složenou válcovou stěnou, neboť do zadního odvětrávání komínu byl přísávan horký vzduch od kouřovodu spalovacího zařízení.

Při uvážení tohoto nepříznivého vlivu teplota sousedícího komínového průduchu nepřesáhla během celého experimentu (4 hodin) 56 °C. Naměřené, resp. vypočtené hodnoty byly využity pro spalovací výpočet a související výpočty tepelně technických parametrů (V_{sp} , V_{sp}^s , L_{\min} , L_{sk} , ρ_{sp} , entalpie, teoretická a praktická teplota). Pyrometrická účinnost byla stanovena na $\eta_{\text{pyr}} = 0,5$.

Vypočtené parametry podle programu [7] pro různé přebytky spalovacího vzduchu podle naměřených hodnot jsou uvedeny ve spalovacích výpočtech v příloze. Vlhkost paliva potřebná pro experimentální i výpočtovou část byla stanovena dvěma způsoby:

5.1.1 Stanovení vlhkosti gravimetricky

Odebraný vzorek dřeva o hmotnosti 208,07 g byl sušen při 105 °C do konstantní hmotnosti. Po vysušení se změnila hmotnost 177,37 g. Úbytek vlhkosti vzorku byl 30,70 g což představuje vlhkost paliva 14,75 %W.

5.1.2 Stanovení vlhkosti vlhkoměrem

Pro měření vlhkosti přímo při experimentu bylo využito vlhkoměru značky Testo 606-2, který měří vlhkost na principu změny vodivosti s vlhkostí.

5.1.2.1 Funkce a použití přístroje

Měří vlhkost materiálu, teplotu a vlhkost vzduchu. Používá se k měření zbytkové vlhkosti dřeva a stavebních materiálů. Použitá metoda měření je určena k posouzení, zda je kontrolované palivo dostatečně vysušeno. Vlhkost paliva nebo měřených materiálů je udávána v hmotnostních %.



Obr. 7 Vlhkoměr Testo 606-2

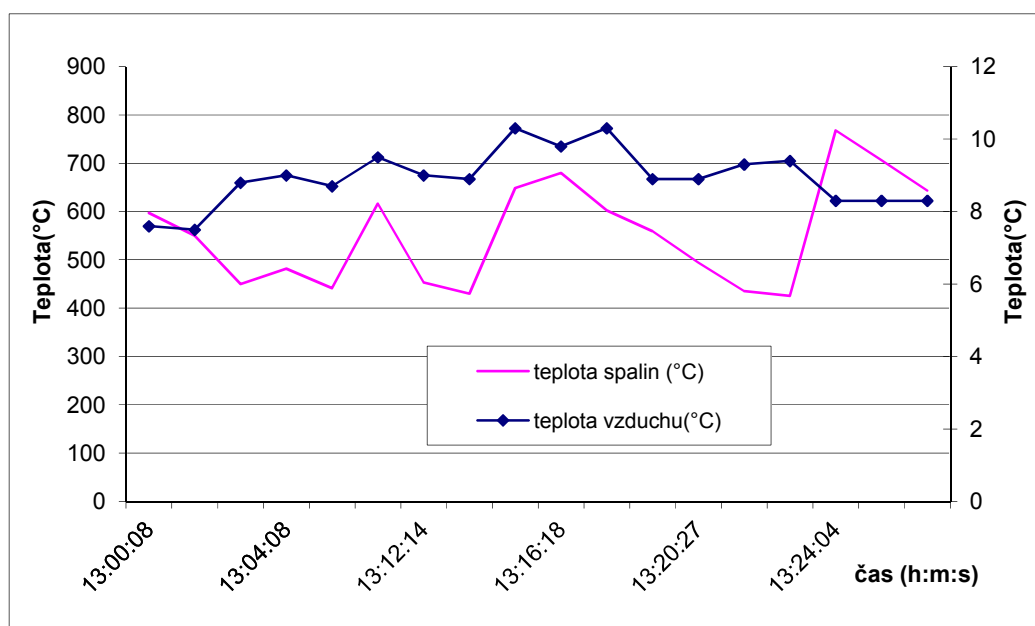
6 NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ PARAMETRY EXPERIMENTU:

Tabulka 2 Naměřené hodnoty v průběhu měření

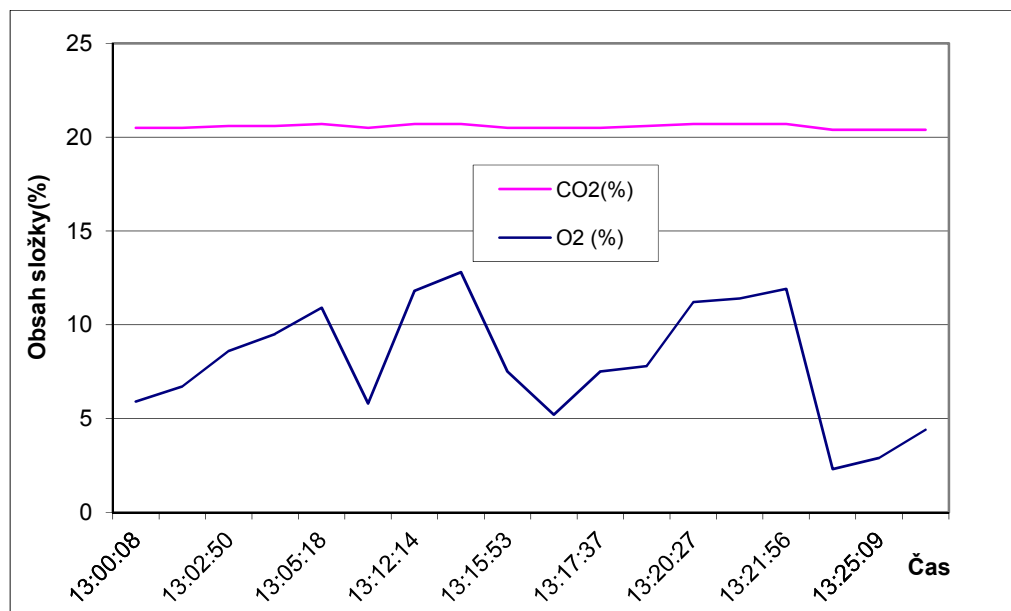
Místo měření	Experimentální komín HELUZ MULTI	
Datum	5. 3. 2012	
Typ komína	Dvouapůlprůduch	
	1. Průduch šamot-Klasik 200 mm	
	2. Průduch Metal přetlak 140 mm	
	3. Poloviční šachta pro přívod vzduchu	
Spotřebič	Výrobce	Kovosmalt Filakovo
	Název	Zoraterm 10 F - 1433
	Výkon	4,6 kW
	Norma	ČSN 06 8612
	Výrobní číslo	9405
Vlhkost dřeva	Vzorek 1	23,80 % W
	Vzorek 2	25,00 % W
	Vzorek 3	14,70 % W
	Vzorek 4	26,20 % W
	Gravimetricky	14,75 % W
	Průměr	20,89 % W
Teplota vzduchu	9:30 hod	3,2 °C
	10:30 hod	9,8 °C
	12:00 hod	8,7 °C
Vlhkost vzduchu	9:30 hod	30%
	12:00 hod	24%
Barometrický tlak	983 hPa	

Tabulka 3 Hodnoty naměřených tahů a teplot

Tah - poloviční šachta	5 Pa	
Teplota vzduchu	9:30 hod	3,2 °C
	10:30 hod	9,8 °C
	12:00 hod	8,7 °C
Komínový tah v průduchu	12:40 hod	40 Pa
Tah zadního odvětrávání v patě	13:30 hod	5 Pa
Tah odvětrávání u sopouchu	13:30 hod	2 Pa



Obr. 8 Grafický průběh teplot při spalování

Obr. 9 Grafický průběh obsahu CO₂ a O₂ ve spalinách

Tabulka 4 Hodnoty naměřené analyzátozem spalín na začátku měření

Měřené hodnoty	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr měření	Maximální hodnoty
Datum a čas	5.3.2012 13:00:08	5.3.2012 13:01:08	5.3.2012 13:02:50	-----	-----
Kyslík O ₂ (%)	5,9	6,7	8,6	7,07	8,6
CO _{měř} (PPM)	773	861	1320	984,67	1320
Teplota vzduchu (°C)	7,6	7,5	8,8	7,97	8,8
Teplota spalín (°C)	596,8	550,3	449,8	532,3	596,8
Tah (hPa)	-0,3	-0,31	-0,29	-0,3	-0,31
Vypočtené hodnoty					
Oxid uhličitý CO ₂ (%)	14,6	13,8	12	13,47	14,6
Přebytek vzduchu (-)	1,39	1,47	1,69	1,52	1,69
Komínová ztráta (%)	29,9	29	27,2	28,7	29,9
Účinnost (%)	70,1	71	72,8	71,3	72,8
CO _{ref} (mg/m ³) podle NV 476/2009 Sb.	640	753	1331	908	1331

Tabulka 5 Hodnoty naměřené analyzátozem spalín v průběhu měření

Měřené hodnoty	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr měření	Maximální hodnoty
Datum a čas	5.3.2012 13:04:08	5.3.2012 13:05:18	5.3.2012 13:09:35	-----	-----
Kyslík O ₂ (%)	9,5	10,9	5,8	8,73	10,9
CO _{měř} (PPM)	835	523	164	507,33	835
Teplota vzduchu (°C)	9	8,7	9,5	9,07	9,5
Teplota spalín (°C)	482	441,6	616,4	513,33	616,4
Tah (hPa)	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31
Vypočtené hodnoty					
Oxid uhličitý CO ₂ (%)	11,1	9,8	14,7	11,87	14,7
Přebytek vzduchu (-)	1,83	2,08	1,38	1,76	2,08
Komínová ztráta (%)	31,5	32,8	30,5	31,6	32,8
Účinnost (%)	68,5	67,2	69,5	68,4	69,5
CO _{ref} (mg/m ³) podle NV 476/2009 Sb.	908	647	135	563,33	908

Tabulka 6 Hodnoty naměřené analyzátozem spalín v průběhu měření

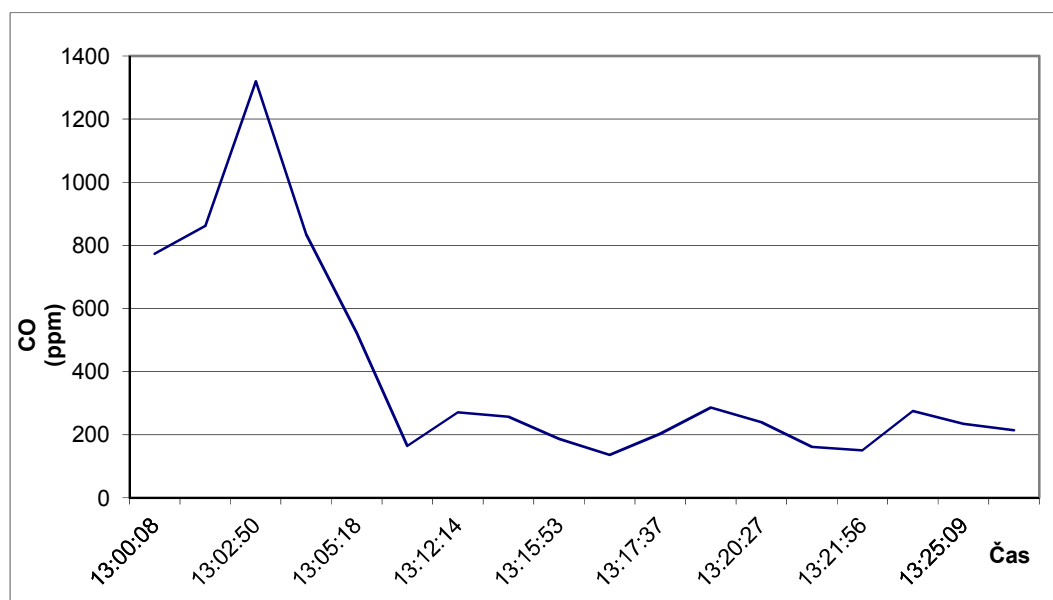
Měřené hodnoty	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr měření	Maximální hodnoty
Datum a čas	5.3.2012 13:12:21	5.3.2012 13:13:14	5.3.2012 13:15:53	-----	-----
Kyslík O₂ (%)	11,8	12,8	7,5	10,7	12,8
CO_{měř} (PPM)	271	257	187	238,33	271
Teplota vzduchu (°C)	9	8,9	10,3	9,4	10,3
Teplota spalín (°C)	453,4	429,9	648,8	510,7	648,8
Tah (hPa)	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37
<i>Vypočtené hodnoty</i>					
Oxid uhličitý CO₂ (%)	8,9	7,9	13	9,93	13
Přebytek vzduchu (-)	2,28	2,56	1,56	2,13	2,56
Komínová ztráta (%)	37	39,3	36,2	37,5	39,3
Účinnost (%)	63	60,7	63,8	62,5	63,8
CO_{ref} (mg/m³) podle NV 476/2009 Sb.	368	392	173	311	392

Tabulka 7 Hodnoty naměřené analyzátozem spalín v průběhu měření

Měřené hodnoty	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr měření	Maximální hodnoty
Datum a čas	5.3.2012 13:16:18	5.3.2012 13:17:37	5.3.2012 13:18:33	-----	-----
Kyslík O₂ (%)	5,2	7,5	7,8	6,83	7,8
CO_{měř} (PPM)	136	203	286	208,33	286
Teplota vzduchu (°C)	9,8	10,3	8,9	9,67	10,3
Teplota spalín (°C)	679,9	602,2	559	613,7	679,9
Tah (hPa)	-0,37	-0,35	-0,35	-0,36	-0,37
<i>Vypočtené hodnoty</i>					
Oxid uhličitý CO₂ (%)	15,3	13	12,8	13,7	15,3
Přebytek vzduchu (-)	1,33	1,56	1,59	1,49	1,59
Komínová ztráta (%)	32,4	33,5	31,9	32,6	33,5
Účinnost (%)	67,6	66,5	68,1	67,4	68,1
CO_{ref} (mg/m³) podle NV 476/2009 Sb.	108	188	271	189	271

Tabulka 8 Hodnoty naměřené analyzátozem spalín na konci měření

Měřené hodnoty	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr měření	Maximální hodnoty
Datum a čas	5.3.2012 13:20:27	5.3.2012 13:21:41	5.3.2012 13:21:56	-----	-----
Kyslík O ₂ (%)	11,2	11,4	11,9	11,5	11,9
CO _{měř} (PPM)	239	161	150	183,33	239
Teplota vzduchu (°C)	8,9	9,3	9,4	9,2	9,4
Teplota spalín (°C)	494,1	435,3	425,7	451,7	494,1
Tah (hPa)	-0,33	-0,33	-0,33	-0,33	-0,33
<i>Vypočtené hodnoty</i>					
Oxid uhličitý CO ₂ (%)	9,5	9,3	8,8	9,2	9,5
Přebytek vzduchu (-)	2,14	2,19	2,31	2,21	2,31
Komínová ztráta (%)	37,9	33,9	35	35,6	37,9
Účinnost (%)	62,1	66,1	65	64,4	66,1
CO _{ref} (mg/m ³) podle NV 476/2009 Sb.	305	210	206	240,33	305



Obr. 10 Grafický průběh obsahu CO ve spalínách

7 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Zadaným cílem bakalářské práce je stanovení základních tepelně-technických parametrů systémového komínu HELUZ MULTI, a to především z hlediska teplot v kritických bodech konstrukce komínového systému se záměrem prokázat bezpečnou funkci kombinovaného šamotového kouřovodu pro tuhá paliva a sousedícího plastového kouřovodu pro plynové spotřebiče s limitovanou maximální teplotou 200 °C.

Experiment byl připraven postavením 7 metrů vysokého komínu HELUZ MULTI s dvouapůlprůduchem (kouřovod pro tuhá paliva, plyn a poloprůduch pro přívod spalovacího vzduchu). Zdrojem spalin bylo roštové topeniště (kamna Zoraterm 10 F – 1433 z kovosmaltu Filakovo) s jmenovitým výkonem 4,6 kW. Za palivo bylo vybráno dřevo o průměrné vlhkosti 20,89 % W.

Ve 4 úrovních komínu, ve výšce 2.0 , 3.5, 5.0 a 6.5 metrů byly při stavbě nainstalovány NiCr- Ni termočlánky a to vždy v pěti bodech : v ose proudu spalin kouřovodu (1), na vnitřní stěně šamotového kouřovodu (2), na vnější stěně šamotového kouřovodu, která je současně vnitřní stěnou tepelné izolace (3), na vnější stěně tepelné izolace (4) a do keramické mezistěny sousedících průduchů (5). Dále byly měřeny teploty v ústí komínu ve výšce 7.0 metrů a v odtahu spalovací komory kamen.

Provozní režim experimentu byl stanoven tak, aby docházelo k relativně dokonalému spalování, a to dodržením minimální teploty 500° C v odtahu spalin ze spalovací komory kamen (tzn. zápalné teploty hořlavé směsi). Pro rovnoměrný výkon byla v počáteční fázi experimentu stanovena frekvence a hmotnost přikládání paliva, a to přikládáním 0,5 kg dřevěných polínek 2 x 2 x 20 cm v intervalu 450 sekund (7,5 minuty). Tím byl zajištěn relativně rovnoměrný provozní režim umožňující definovat podmínky spalování, jak je zřejmé ze zápisu naměřených teplot uvedených v příloze 3. Z uvedené přílohy č.3 je zřejmé, že v počáteční fázi experimentu do času 13:45 hodin docházelo běžně k dohořívání prchavé hořlaviny až v kouřovodu komínu, kdy teplota přesahovala 530° C. Naměřená teplota konstatovala zásadní rozdíl proti běžně předpokládaným maximálním teplotám 300 °C na vstupu spalin do komína.

Zjištěné výsledky jsou však závažné, neboť jasně prokázaly, že je možné docílit extrémní teploty spalin přesahující 500 °C u topenišť na dřevo v používaných lokálních topeništích.

Z hlediska cíle experimentu byly proto stanoveny provozní režimy spalování tak, aby zasahovaly do extrémních teplot spalin v kouřovodu komínu. Relativně rovnoměrný, ale maximální výkon spalovacího zařízení byl zajištěn přikládáním 0,5 kg dřeva v intervalu 450 sekund (7,5 minuty) což znamená 4 kg dřeva za hodinu. Při stanovené výhřevnosti dřeva 14 228 kJ. kg⁻¹ to znamená příkon 15,81 kW! Tento experimentální provozní režim 3,43x pře-

kročil jmenovitý výkon kamen (4,6 kW). Z tohoto hlediska lze definovat podmínky experimentu jako spalovací režim při maximálním výkonu spalovacího zařízení.

Vzhledem k časové nerovnoměrnosti mechanismu hoření dřeva kolísaly teploty v odtahu topeniště mezi $440 - 760^{\circ}\text{C}$, v kouřovodu komína v extrémním místě zaústění sopouchu do komínu byl interval teplot $250 - 530^{\circ}\text{C}$ při neustáleném režimu, v ustáleném režimu definovaného přikládání byl interval teplot $250 - 330^{\circ}\text{C}$, jak je zřejmé z naměřených teplot uvedených v příloze 3. Z experimentu je zřejmé, že nejkritičtější místo s nejvyššími teplotami je v úrovni 2,0 m komínu tzn. těsně nad zaústěním sopouchu spalovacího zařízení do komína.

Čtyřhodinovým měřením v rámci experimentu bylo prokázáno, že teplota ve stěně sousedícího průduchu vystoupala až na 63°C , což je z hlediska teplotní odolnosti plastových materiálů pro odtahy spalin z plynových spotřebičů s limitní teplotou 200°C vyhovující. Změřené teploty v jednotlivých vrstvách komínové konstrukce však prokázaly, že je nutné věnovat pozornost stavebním detailům zaústění sopouchu do komínu, neboť zde docházelo k nasávání (změřený tah $2 - 5\text{ Pa}$) horkého vzduchu do svislé štěrby zadního odvětrávání a s tím souvisejícím ohřevem vnitřních vrstev komínové konstrukce nejen vedením přes složenou válcovou stěnu, ale také konvekcí přísávaným horkým vzduchem do systému zadního odvětrávání.

V průběhu experimentu bylo rovněž měřeno složení a teplota spalin, tah komínu a teploty okolí. Na základě změřených veličin byly stanoveny výpočtem další parametry, například přebytek spalovacího vzduchu, komínová ztráta a účinnost. Tyto veličiny jsou v průběhu měření uvedeny v tabulce 4 – 8.

8 ZÁVĚR

Na základě požadavku stanovení základních tepelně technických parametrů systémového komínu HELUZ MULTI byl navržen, připraven a realizován experiment při kterém byly změřeny teplotních polí v kouřovodech komínu a dalších souvisejících parametrů (tahy) prokázány jejich změny v režimu extrémních výkonů. Jako topeniště byly vybrány roštové prohořivací kamna Kovosmaltu Filakovo typu Zoraterm 10 F – 1433 umožňující výrazné překročení jmenovitého výkonu 4,6 kW. Na základě zadání firmy HELUZ byl zvolen a zajištěn režim extrémního výkonu 15,81 kW 3,43x převyšující jmenovitý výkon. Uvedený režim byl stanoven na základě počáteční fáze experimentu s cílem zajistit vysoký ale relativně rovnoměrný výkon umožňující definovat tepelně technické podmínky.

V počátečních fázích experimentu byla stanovena jak hmotností dávka přikládání paliva, tak frekvence přikládání při rozměrech paliva 2 x 2 x 20 cm, což zajistilo relativně stabilní spalovací režim s kolísáním teploty spalin v odtahu 440 – 760 °C. Spodní teplota byla záměrně stanovena na 500 °C což je zápalná teplota hořlavé směsi zajišťující dohoření prchavé hořlaviny, vzhledem k nerovnoměrnosti mechanismu hoření však docházelo i k podkročení této teploty na uvedených 440 °C. Horní teplota 760 °C však byla výsledkem samovolného rozběhu vyhořívání uvolňující se prchavé hořlaviny v krátkém intervalu po přiložení. Nebyla tedy řízena experimentem, ale byla výsledkem samovolně probíhajících procesů hoření.

Z chemické analýzy složení spalin byly stanoveny i aktuální přebytky vzduchu v průběhu experimentu. Ze spalovacích výpočtů provedených pomocí programu [7] sestaveném na katedře tepelné techniky byly stanoveny i spalovací teploty příslušející aktuálním spalovacím podmínkám v určitých časových okamžicích experimentu. Výsledky naměřených a vypočtených parametrů prokázaly velmi dobrou shodu, jak je zřejmé ze spalovacích tabulek v příloze a tabulek naměřených veličin.

Souhrnně lze konstatovat, že experiment prokázal, že i u běžně používaných topenišť jako jsou použita kamna typu Zoraterm 10 F – 1433 lze dosáhnout výkon odpovídající několikanásobku jmenovitého výkonu kamen (3,43x) a přivést do komína spaliny s extrémní teplotou přesahující 530 °C, což je výrazně vyšší teplota, než běžně předpokládaných 300 °C.

Naměřený průběh teplot v konstrukci kouřovodů komínu rovněž prokázal požadovanou skutečnost, že i při extrémním tepelném zatížení komínu po dobu 4 hodin nedojde k ohřevu sousedního průduchu pro instalaci plastového kouřovodu pro plynové spotřebiče s limitní teplotou 200 °C, neboť v keramické stěně sousedících průduchů byla naměřena maximální teplota 63 °C.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JELÍNEK, V. Komínová technika. Praha: Komtec. 2000. 190 s. ISBN 80-238-5944-7
- [2] RÉDR, M., PŘÍHODA, M. *Sdílení tepla a proudění*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 180 s. ISBN 80-248-0960-6.
- [3] RÉDR, M., PŘÍHODA, M. *Základy tepelné techniky*. První vydání. Praha : SNTL, 1991. 680 s. ISBN 80-03-00366-0
- [4] ŘEHÁNEK, J. *Tepelně technické a energetické vlastnosti budov*, První vydání, Grada Publishing, Praha 7, 2002, 247, ISBN 80-7169-582-3.
- [5] BÁLEK, S. *Tepelně technické tabulky a diagramy*, První vydání, R1979 129 s. ISBN 80-248-0870-6.
- [6] WILLIS, A. *Direct Biomass Burning*, [online] 2000, poslední revize 18.3. 2006 [cit. 2012-12-04]. Dostupné na WWW:
<<http://blogs.princeton.edu/chm333/f2006/biomass/comparison/pollution/>>
- [7] DITTEL, D. *Program pro spalovací výpočty, Katedra tepelné techniky 2008*, VŠB-TU Ostrava, bez ISBN
- [8] COUFALÍK, M. *Technická příručka pro projektanty a stavitele*, HELUZ. Dolní Bukovsko, 2012, 139 s., bez ISBN
- [9] HUMN, O. *Nízkoenergetické domy*, První vydání. Praha: Edice Stavitel, 1999. 360s. ISBN 80-7169-657-9
- [10] TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy 2*. První vydání, Grada Publishing, Praha 7, 2008 189 s. ISBN 978- 80-247-2061-6
- [11] LOMBORG, B. *Skeptický ekolog*. První vydání, Dokořán, Vimperk, 2001 587 s. ISBN 80- 7363-059-1
- [12] KADRNOŽKA, J. *Energie a globální oteplování*. První vydání, Vysoké učení technické v Brně, 2006 182 s. ISBN 80-214-2919-4

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady vyústění historických komínů.....	8
Obr. 2 Jednovrstvé komíny (zděný, plnostěnný a prefabrikovaný).....	8
Obr. 3 Dvouvrstvý komín.....	9
Obr. 4 Třívrstvý komín (Schiedel)	9
Obr. 5 Schéma obsahující všechny komponenty komínového systému.....	11
Obr. 6 Komínový systém Heluz	14
Obr. 7 Vlhkoměr Testo 606-2.....	20
Obr. 8 Grafická znázornění teplot při spalování.....	22
Obr. 9 Grafické znázornění obsažených CO ₂ a O ₂ ve spalinách	22
Obr. 10 Grafické znázornění obsažených CO ve spalinách.....	25

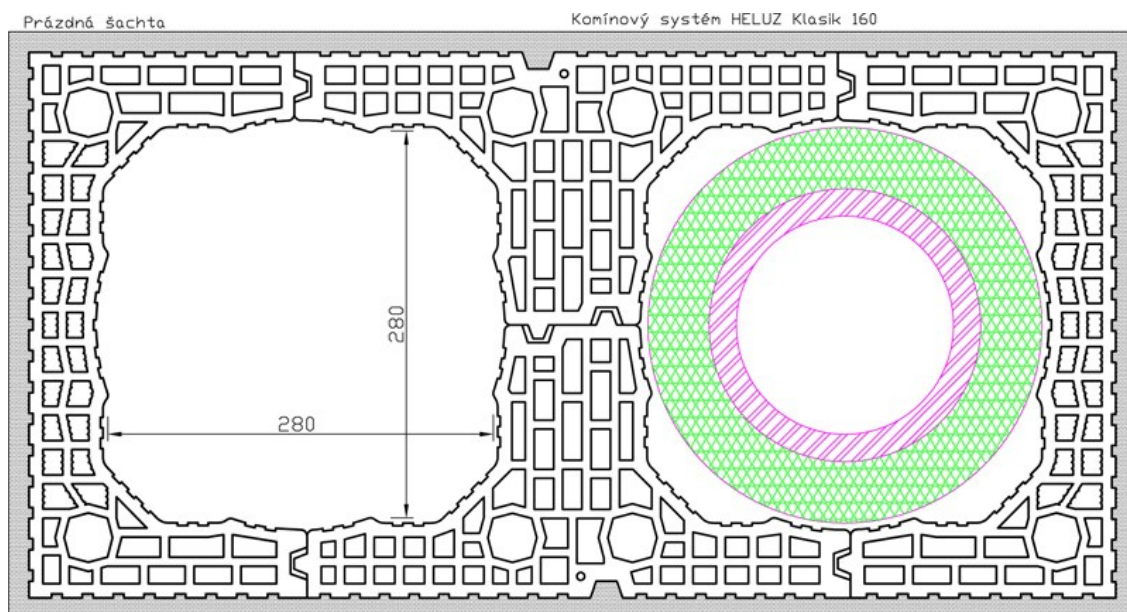
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Chemické složení paliva.....	19
Tabulka 2 Naměřené hodnoty v průběhu měření	21
Tabulka 3 Hodnoty naměřených tahů a teplot.....	21
Tabulka 4 Hodnoty naměřené analyzátozem spalin na začátku měření	23
Tabulka 5 Hodnoty naměřené analyzátozem spalin v průběhu měření	23
Tabulka 6 Hodnoty naměřené analyzátozem spalin v průběhu měření	24
Tabulka 7 Hodnoty naměřené analyzátozem spalin v průběhu měření	24
Tabulka 8 Hodnoty naměřené analyzátozem spalin na konci měření.....	25

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Skladba komínového systému HELUZ	33
Příloha 2	Experimentální komín.....	33
Příloha 3	Průběh měřených teplot od začátku do konce měření.....	34
Příloha 4	Znázornění emisí CO z přímého spalování biomasy	35
Příloha 5	Spalovací tabulky pro pevná paliva pro $n=1,33$	36
Příloha 6	Spalovací tabulka pro pevné paliva pro $n = 2,00$	37
Příloha 7	Spalovací tabulka pro pevné palivo pro $n = 2,2$	38
Příloha 8	Spalovací tabulka pro pevné palivo pro $n = 2,56$	39

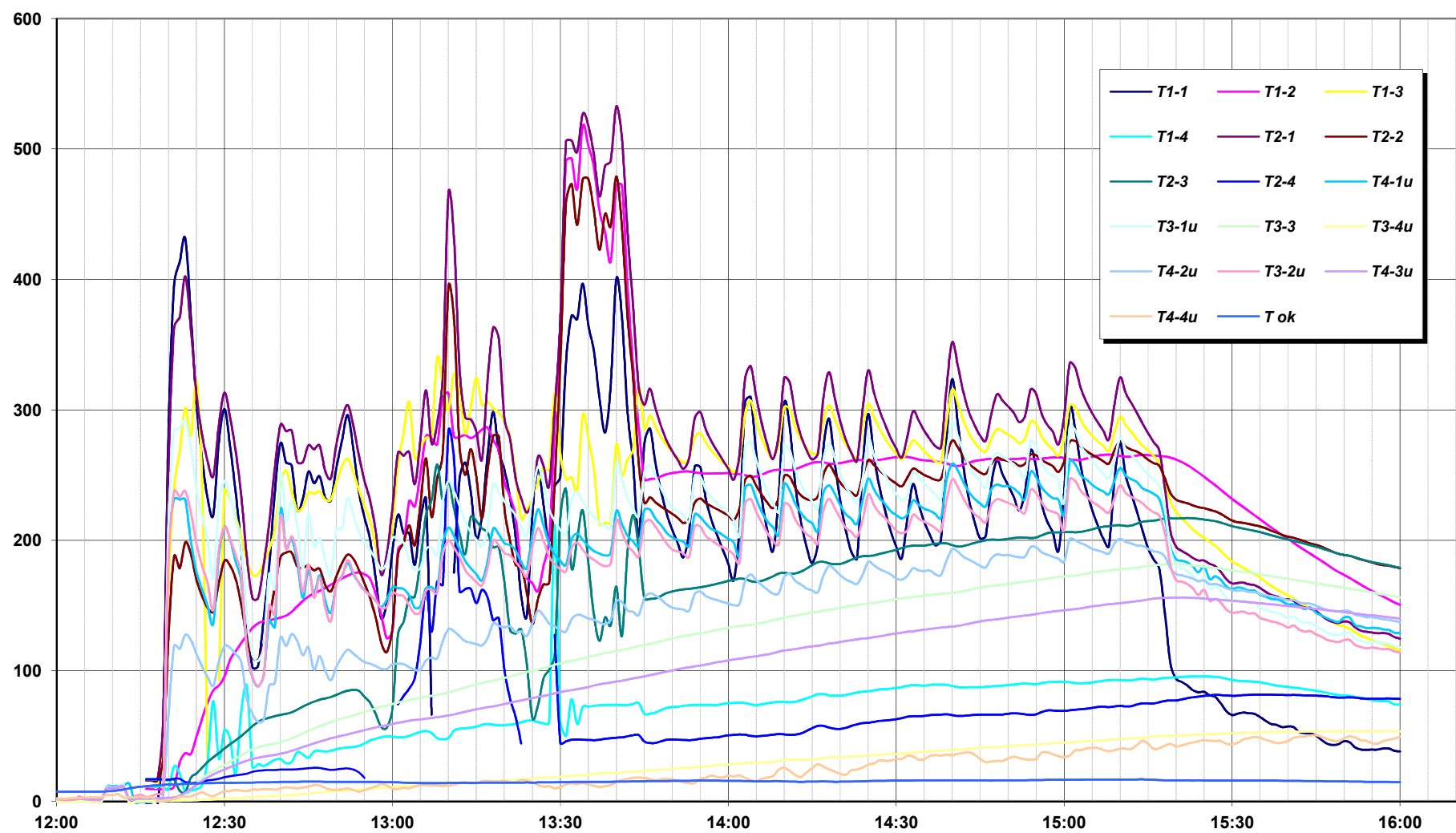
PŘÍLOHY



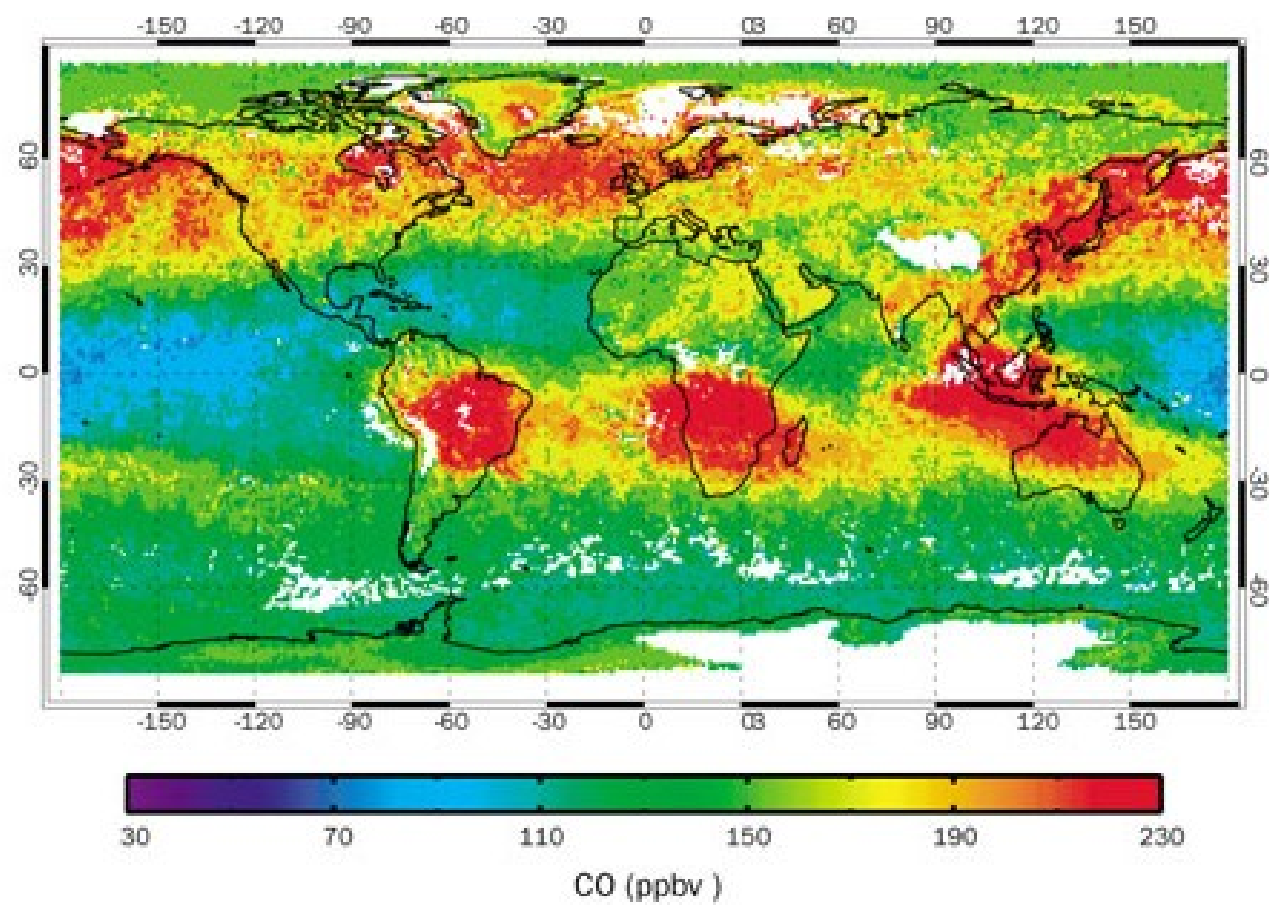
Příloha 1 Skladba komínového systému HELUZ



Příloha 2 Experimentální komín



Příloha 3 Průběh měřených teplot od začátku do konce měření



Příloha 4 Znáznornění emisí CO z přímého spalování biomasy[6]

